



Projet n°. 015403

**FONIO**

**Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio  
en Afrique de l'Ouest**

Projet de Recherche spécifique ciblé (STREP)  
INCO

**WORK PACKAGE 1**

**Diversification of fonio products for niche export markets and local markets**

**D 5**

**Equipements pour le séchage du fonio**

Equipments for the drying of fonio

Authors: **Claude MAROUZÉ, Jean-François CRUZ, Michel RIVIER (Cirad)**

Workpackage leader: Mme Geneviève FLIEDEL (Cirad)

Project coordinator : Jean-François CRUZ (Cirad)

**CIRAD** (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement - France)

Décembre 2008

Projet co-financé par la Commission Européenne au cours du 6ème programme cadre (2002-2006)		
Niveau de diffusion		
PU	Public	X
PP	Restreint aux participants d'autres programmes (Services de la Commission inclus)	
RE	Restreint à un groupe spécifié par le consortium (Services de la Commission inclus)	
CO	Confidentiel, restreint aux membres du consortium (Services de la Commission inclus)	

**Auteurs:** Claude MAROUZÉ, Jean-François CRUZ, Michel RIVIER,

Cirad (Centre de Coopération internationale en Recherche Agronomique pour le Développement)  
UMR Qualisud, Département PERSYST,  
TA B-95/16, 73 rue Jean François Breton,  
34398 Montpellier Cedex 5, France

Ce travail a été réalisé en collaboration avec:

Au Mali :

- Djibril DRAME, IER/LTA, Bamako, Responsable du Workpackage1 au Mali
- Mme MARIKO Fadima SIBY, Transformatrice de fonio, Directrice de UCODAL
- Mme DEM Aïssata THIAM, Transformatrice de fonio, Directrice de DANAYA
- Moussa DIARRA, Mod Engineering, Bamako. Constructeur des séchoirs
- Mohamed DIARRA, IER/LTA, Bamako, participation aux essais de séchage
- Kola TANGARA, IER/LTA, Bamako, participation aux essais de séchage
- Daouda YALCOUYE, IER/LTA, Bamako, stagiaire, participation aux essais de séchage

En France :

- Jean-Michel MEOT, Cirad, Montpellier, Co-concepteur du séchoir CSec-T
- Jacques BROUAT, Cirad, Montpellier, Dessinateur des séchoirs CSec-T & CSec-S
- Jérôme FERRE, FEMAG Ind., Montpellier. Fournisseur de composants du séchoir CSec-S

*Nota : Ce travail a été soutenu financièrement par la Commission de la Communauté Européenne. Il ne reflète pas nécessairement les vues et en aucun cas ne préfigure la politique future de la Communauté dans le domaine*

# **SOMMAIRE**

	<b>Pages</b>
<b>1 - Introduction</b>	<b>1</b>
<b>2 - Amélioration du séchage</b>	<b>1</b>
<b>3 - Description des séchoirs</b>	<b>2</b>
3.1. Le séchoir « serre solaire ventilée » (CSec-S)	2
3.2. Le séchoir à flux traversant (CSec-T)	5
3.2.1. Principe de fonctionnement	5
3.2.2. Description de l'enceinte de séchage	5
3.2.3. Dispositif de chauffage de l'air et de ventilation	6
3.2.4. Dimensionnement du séchoir et réalisation des plans	7
3.2.5. Fabrication locale	7
3.2.6. Modifications du séchoir au cours des essais	7
3.2.7. Evolution possible vers un modèle solaire	7
<b>4 - Validation des séchoirs</b>	<b>8</b>
4.1. Validation du séchoir « serre solaire ventilée » (CSec-S)	8
4.2. Validation du séchoir à flux traversant (CSec-T)	9
<b>5 - Conclusions</b>	<b>9</b>
<b>REFERENCES</b>	<b>10</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>11</b>

# 1 - Introduction

Le fonio, céréale ancestrale d'Afrique de l'Ouest, est aujourd'hui parfois valorisé sous la forme de fonio précuit conditionné en petits sachets plastiques de 500g et 1kg. Il est ainsi commercialisé dans les boutiques ou les supermarchés des grandes villes ou même exporté en Europe ou aux Etats Unis (Cruz, 2004)

Les petites entreprises qui transforment ainsi le fonio sont généralement implantées en milieu urbain et les opérations de transformation sont, encore de nos jours, très souvent traditionnelles. Les différentes étapes de la transformation du fonio paddy en fonio blanchi sont le nettoyage, le décorticage-blanchiment et le lavage-dessablage suivi du séchage (Cruz, 2001). Une opération de précuisson est réalisée entre le lavage-dessablage et le séchage pour obtenir le fonio précuit. Certaines opérations sont aujourd'hui mécanisées (nettoyage, décorticage et blanchiment) mais d'autres restent encore essentiellement manuelles (Cruz, Dramé et al., 2005)

Dans le cadre du projet européen FONIO « Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest » et des activités du Work Package 1 intitulé « *Diversification des produits de fonio pour les niches de marché à l'exportation et les marchés locaux* », des études ont porté sur l'amélioration du séchage. Deux types de séchoirs ont ainsi été conçus, testés et validés pour accroître la qualité du fonio précuit et répondre aux besoins des transformatrices locales.

## 2 - Amélioration du séchage

Le séchage du fonio (fonio blanchi lavé, fonio précuit, fonio étuvé,...) est souvent réalisé par une exposition directe au soleil en étalant les grains sur des nattes ou des bâches ou encore sur des plateformes recouvertes d'un tissu ou d'un plastique (figures 1 & 2). Au cours du séchage, les grains risquent alors d'être « pollués » par diverses impuretés (poussières, fientes d'oiseaux,...) qui déprécient considérablement le produit.



© J.F. Cruz (Cirad)

Figure 1. Séchage du fonio sur natte



© J.F. Cruz (Cirad)

Figure 2. Séchage du fonio sur table

Afin d'améliorer la qualité du fonio commercialisé, deux séchoirs ont été conçus par le Cirad dans le cadre du projet FONIO, puis fabriqués par la Société Mod Engineering à Bamako (Mali). Il s'agit de :

- Séchoir « serre solaire ventilée » (CSec-S)
- Séchoir « à flux traversant » (CSec-T)

Les travaux de recherche ont eu pour objectifs de développer des équipements efficaces énergétiquement afin de réduire autant que possible le coût énergétique qui est le principal poste de dépenses dans l'opération de séchage. La ventilation dynamique de l'air a été retenue pour favoriser l'échange entre l'air chaud et le produit à sécher. Les travaux réalisés dans le cadre du projet FONIO sur le volet séchage du fonio visent à :

- Etudier la fabrication locale,
- Dessiner les séchoirs,
- Faire fabriquer les séchoirs et en vérifier la bonne fabrication,
- Tester les séchoirs en conditions réelles,
- Evaluer les performances en vue d'une large diffusion.

Ces équipements ont été placés dans des entreprises à Bamako (Ucodal et Danaya) et testés en collaboration avec le Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER.

### **3 - Description des séchoirs**

#### **3.1. Le séchoir « serre solaire ventilée » (CSec-S)**

Le séchoir serre à double ventilation constitue une alternative au séchage solaire direct. Le séchage du produit est obtenu par rayonnement direct du soleil sur le produit et par effet de serre (température plus élevée à l'intérieur de la serre qu'à l'extérieur). L'objectif est de réaliser un séchage à basse température en utilisant comme source de chaleur, le rayonnement solaire comme apport de chaleur.

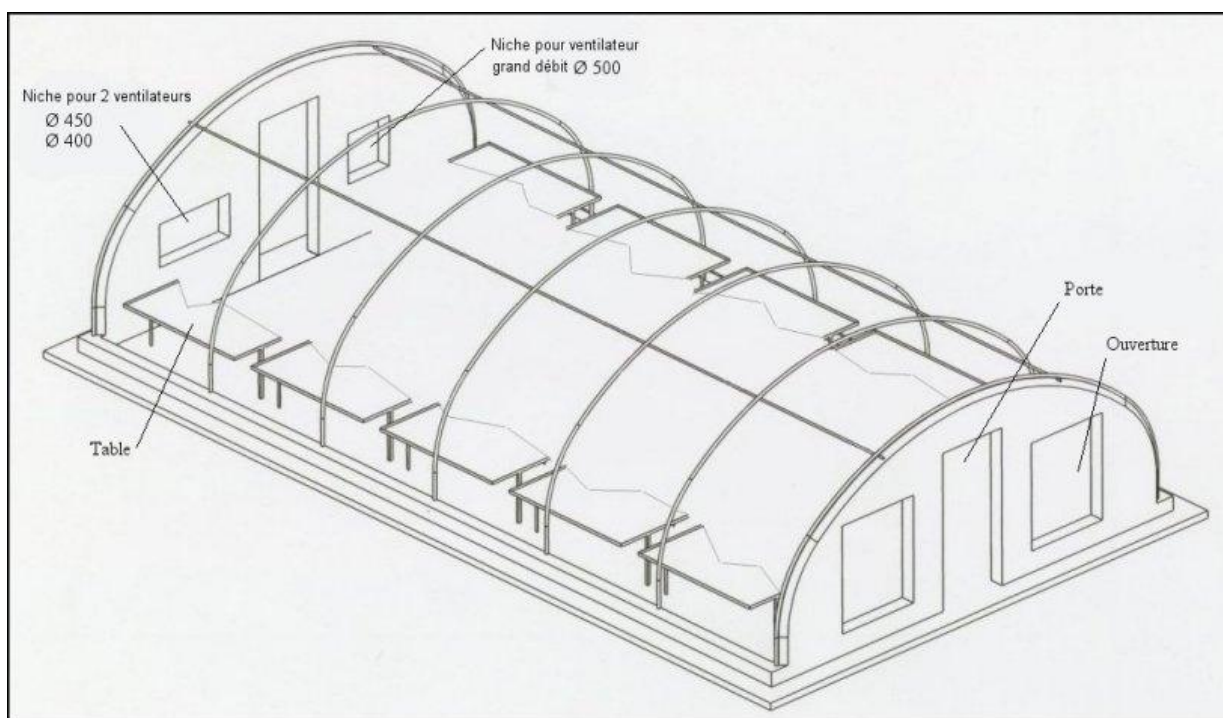
Le séchoir serre a été développé pour :

- d'une part, protéger les produits des intempéries, des oiseaux et des poussières de l'air extérieur,
- et d'autre part, réduire la manipulation du produit. En effet, il n'est pas nécessaire de le rentrer à l'arrivée des pluies ou le soir si le produit a été mis à sécher dans le courant de la journée.

Le séchoir serre se compose d'une structure en tubes galvanisés supportant un film plastique. La structure repose sur une dalle (7,4m x 13 m) et des pignons en maçonnerie. Le pignon avant est percé d'une porte et deux fenêtres équipées d'une protection de type moustiquaire renforcée d'un tissu arrêtant les poussières tout en permettant les entrées d'air.

Le pignon arrière du séchoir est équipé de deux ventilateurs axiaux qui peuvent fonctionner en continu pour renouveler l'air du séchoir et d'un autre ventilateur à plus grand débit qui doit être mis en marche pour permettre aux opératrices d'intervenir dans le séchoir dans le courant de la journée pour brasser le produit,

A l'intérieur du séchoir, 3 ventilateurs de plafond brassent l'air intérieur de la serre et assurent un renouvellement de l'air autour du produit. Le séchoir serre comprend des tables métalliques recouvertes de nattes et de tissus sur lesquelles le fonio humide est étalé en couche mince. Il est possible de sécher 300 kg à 400 kg de fonio précuit avec ce modèle de séchoir.



© J. Brouat (Cirad)

Figure 3. Structure du séchoir Serre



© J.F. Cruz (Cirad)

Figure 4. Vue du séchoir serre



Les principales caractéristiques du séchoir serre sont les suivantes :

Principales caractéristiques	
Longueur	12 m
Largeur	6,5 m
Surfaces des claies	43 m <sup>2</sup>
Charge par m <sup>2</sup>	5 à 7 kg/m <sup>2</sup>

Tableau 1. Caractéristiques du séchoir Serre

Le séchoir serre (CSec S) a été développé pour valoriser les avantages suivants :

- Extraction et brassage de l'air favorisent le séchage (par rapport aux séchoirs solaires sans ventilation dynamique).
- Séchage solaire à faible coût énergétique (quelques centaines de Watts sont nécessaires pour l'entraînement des ventilateurs), séchage à basse température et utilisation directe du rayonnement solaire.
- Séchage en une journée réduisant au minimum les risques de dégradation des produits au cours du séchage.
- Possibilités de sécher les produits sous toutes les formes : farine, pâte, granules, céréales entières, mélange farine et granules.
- Possibilité de moduler la capacité du séchoir (longueur et largeur) et possibilité de mettre plusieurs unités côte à côte pour répondre aux besoins de séchage des transformateurs.



© J.F. Cruz (Cirad))

Figure 5. Vue intérieure du séchoir serre montrant les ventilateurs axiaux

### 3.2. Le séchoir à flux traversant (CSec-T)

A l'origine, le séchoir à flux traversant a été développé par le Cirad avec des tamis circulaires superposés (Baka N'Guessan, 1999; Ursule, 2001) puis une étude détaillée a été réalisée à l'aide d'une maquette comportant des claies-tiroirs (Gomez Eslava, 2005). A partir de cette disposition un premier séchoir comportant 3 cellules a été réalisé et testé sur produits roulés au Burkina Faso (Méot and Marouzé, 2005).

#### 3.2.1. Principe de fonctionnement

Ce principe de séchage a été développé pour les produits solides de type produits granulés (couscous) ou sous forme de graines ou de morceaux. Il faut que le flux d'air puisse traverser la masse de produit sans la déplacer, ce principe ne convient pas pour les farines ou les produits comportant une part de farines.

Le principe du séchoir à flux traversant est de créer un mouvement à contre courant entre d'une part, le flux d'air chaud qui va de bas en haut et d'autre part, le produit qui descend par étapes depuis la position 4 des claies jusqu'à la position 1. Dans ce principe, le flux d'air chaud traverse la masse de produit pour favoriser l'échange air-produit. Ces deux principes (contre courant et air traversant la masse de produit) permettent d'avoir une très bonne efficacité énergétique ; l'air sortant du séchoir est quasiment saturé en eau ; ce qui exploite au mieux la capacité évaporatoire de l'air chaud. Le séchoir testé comporte un dispositif de chauffage de l'air au gaz, une ventilation de l'air et une enceinte de mise en contact entre l'air chaud et le produit.

#### 3.2.2. Description de l'enceinte de séchage

Le séchoir comporte 3 cellules contenant chacune 4 claies superposées. Pour mettre en œuvre le principe, nous avons retenu pour les claies, le principe du tiroir posé sur un support horizontal qui est introduit et extrait horizontalement du séchoir. Les claies sont rectangulaires. Le mouvement à contre courant est obtenu par permutation des claies ; la claie avec le produit humide est placée en position supérieure, au bout d'un cycle de permutation, elle est descendue d'un niveau, à la permutation suivante elle est de nouveau descendue d'un niveau et au dernier cycle elle est placée en position basse où le produit est attaqué par de l'air chaud et sec. Cette disposition nécessite la présence d'une personne pour réaliser périodiquement l'enlèvement de la claie basse, la permutation manuelle des claies en commençant par le bas et la mise en place de la claie supérieure avec du produit humide mais cette disposition assure une grande simplicité de fabrication.

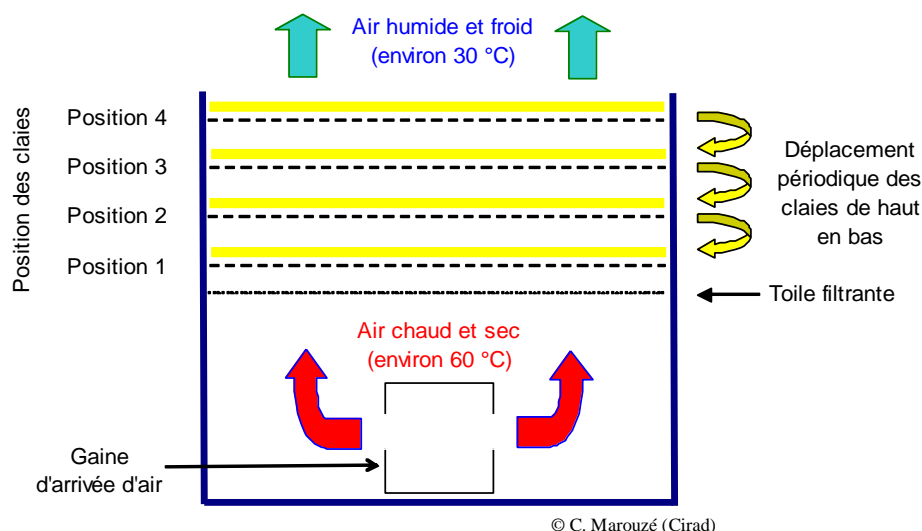
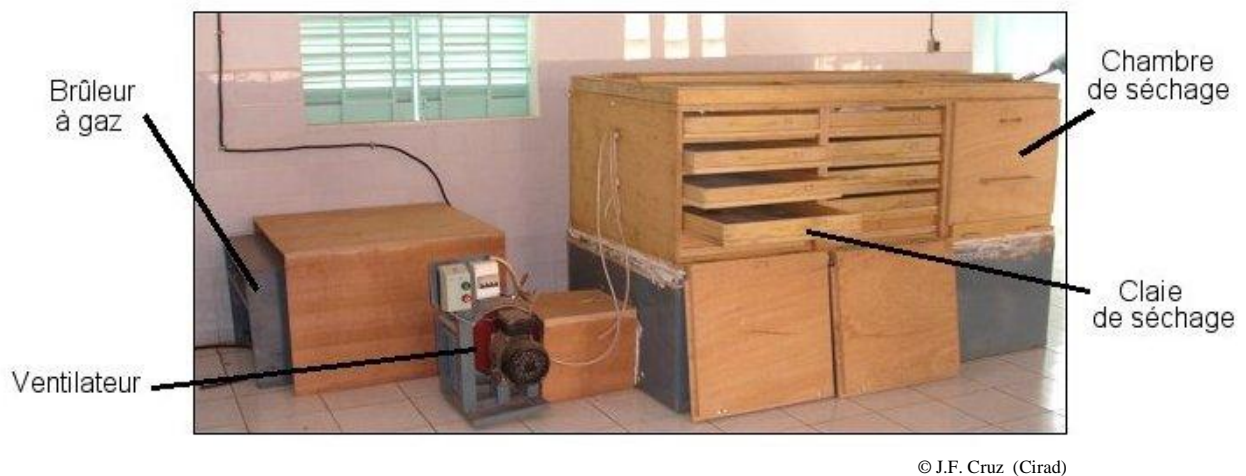


Figure 6. Schéma de principe du séchoir à flux traversant (coupe de l'enceinte).



L'air chaud est introduit par une conduite métallique sous les claies et couvrant les 3 cellules. Deux perçages sont réalisés de part et d'autre de la conduite au niveau de chaque cellule. Les jets d'air dirigés horizontalement sont « cassés » par les parois pour éviter les passages préférentiels d'air au niveau des claies. La perte de charge créée par ces ouvertures homogénéise la répartition d'air entre les trois cellules. Enfin, un cadre revêtu d'un filtre est placé sous les claies pour retenir les poussières éventuellement présentes dans l'air. L'air introduit à la partie basse d'une cellule se répartit sur l'ensemble de la surface de la claie du fait de la perte de charge qu'il crée en traversant le produit.

Chaque compartiment est équipé d'une porte qui donne accès aux claies. Celles-ci sont constituées d'un cadre bas, d'un grillage métallique galvanisé supporté par des raidisseurs, et d'un cadre haut pour contenir le produit. Le produit est disposé sur un tissu type rideau débordant d'environ 15 cm sur chaque bord de la claie. Ce tissu permet de contenir le produit, de le récupérer pour le sortir de la claie ou pour le mélanger. Il peut être lavé.



© J.F. Cruz (Cirad)

Figure 7. Vue générale du séchoir CSec-T chez DANAYA à Bamako (Mali)



© C. Marouzé (Cirad)

Figure 8. Filtration de l'air sous les claies



© C. Marouzé (Cirad)

Figure 9. Mise en place de claies chargées de fonio

### 3.2.3. Dispositif de chauffage de l'air et de ventilation

L'enceinte de séchage est alimentée en air chaud par un ensemble composé :

- D'un caisson de chauffage qui utilise un brûleur à gaz de 8 kW.
- D'un ventilateur centrifuge monté directement sur l'axe d'un moteur électrique.

### **3.2.4. Dimensionnement du séchoir et réalisation des plans**

Le dimensionnement du séchoir a été conduit pour le séchage du fonio mais aussi pour celui des autres produits granulés tels que le couscous. Pour le fonio, des vitesses d'air entre 0,17 et 0,3 m/s à l'attaque des claies sont recherchées. Par rapport au modèle précédemment développé au Burkina, la surface des claies a été légèrement augmentée dans le modèle réalisé à Bamako (Mali) afin d'accroître la capacité du séchoir. La principale difficulté est de limiter les pertes de charges du circuit aéraulique pour utiliser un ventilateur basse pression.

Les plans des cellules du séchoir ont été réalisés en fonction des choix de fabrication et pour un ventilateur équipé d'un moteur tournant à 1500 tr/min. Les plans de fabrication du séchoir CSec-T sont donnés dans le livrable 6.

### **3.2.5. Fabrication locale**

Choix des modes de fabrication : la fabrication a été assurée par l'entreprise Mod-Engineering à Bamako. Il a été décidé de privilégier les matériaux et les modes de fabrication suivants :

- Le bois (plaques et chevons) pour toute la partie haute des cellules car cette technologie est bien maîtrisée par les artisans locaux et les températures de l'air dans cette zone ne sont pas trop élevées ;
- Le métal (tôle) pour la partie basse de l'enceinte et pour le circuit d'air chaud jusqu'à la gaine car la température de l'air peut y être élevée surtout si un incident réduit le débit d'air ; ce qui augmente d'autant sa température. Le métal permet d'avoir une bonne étanchéité évitant les fuites d'air chaud.

### **3.2.6. Modifications du séchoir au cours des essais**

La partie basse de l'enceinte avait initialement été construite en maçonnerie mais les essais réalisés ont montré la non adéquation de cette embase maçonnée. En effet, les briques pleines absorbent une quantité de chaleur importante à la mise en route du séchoir ; ce qui se traduit par une chute de température de l'air chaud entre sa sortie du ventilateur et l'attaque du produit. Cette chaleur, perdue par refroidissement de la maçonnerie au cours de la nuit, n'est pas récupérée et diminue le rendement thermique global du séchoir.

Pour les essais de séchage effectués à l'entreprise DANAYA de Bamako, la partie basse de l'enceinte a alors été réalisée en tôle mais ce n'est qu'une solution transitoire. A terme, toute la cellule de séchage sera réalisée en bois.

### **3.2.7. Evolution possible vers un modèle solaire**

La cellule de séchage pourrait être celle d'un séchoir solaire indirect comportant un capteur solaire qui lui assurerait la fourniture de l'air chaud. Les avantages potentiels de la disposition SCec-T sont une amélioration du rendement thermique donc une surface réduite de capteur solaire et la possibilité d'utilisation du gaz comme appoint thermique pour les périodes de faible ensoleillement.

Le débit d'alimentation du séchoir est estimé à 1200 m<sup>3</sup>/h. Pour une utilisation de la cellule couplée avec un capteur solaire et à raison d'un capteur ayant un débit spécifique de 40 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>, il faut une surface de capteur de 30 m<sup>2</sup> soit 5 x 6 m. Ceci est compatible avec la surface généralement disponible dans les ateliers de transformation. Par contre avec un capteur plan, il sera difficile d'obtenir une différence de température entre l'air chaud et l'air ambiant de plus de 20 °C donc difficile d'obtenir une température d'air chaud supérieure à 60 °C. Ceci réduira un peu les performances en termes de capacité indiquées plus haut. Le chauffage de l'air avec du gaz reste nécessaire pour un appoint de chaleur en périodes de faible ensoleillement ou pour poursuivre éventuellement le séchage en fin de journée.

## 4 - Validation des séchoirs

### 4.1. Validation du séchoir « serre solaire ventilée » (CSec-S)

Le séchoir « Serre solaire » a été installé à l'entreprise Ucodal à Bamako et testé en collaboration avec le Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER (Cruz et Al, 2008). Les tests de séchage ont été réalisés sur du fonio précuit en saison sèche et en saison humide. Pendant la période humide d'hivernage (juillet/août 2007), les essais réalisés ont donné les principaux résultats suivants :

Séchoir « Serre solaire » (CSec-S)	
Fonio précuit humide	400 kg
Humidité initiale du fonio	32,5%
Fonio précuit sec	294,7 kg
Humidité du fonio séché	8,4%
Durée totale du séchage	24 h

Tableau 2. Performances du séchoir Serre

Les principaux avantages soulignés par l'utilisatrice sont les suivants :

- ✓ Manutention réduite : le fonio peut rester dans le séchoir pendant toute la nuit même lorsqu'il pleut
- ✓ Le produit est protégé des intempéries, de la poussière, des oiseaux, lézards et rongeurs...
- ✓ Séchage rapide (seulement 1 jour) de n'importe quel produit à basse température 50-60°C
- ✓ Bon résultats de séchage quelle que soit la saison (sèche, humide)
- ✓ Faible coût en énergie

Cependant, elle a mentionné quelques points qui devraient être facilement améliorés

- Déformation des tables en grillage qui ne résistent pas suffisamment aux charges en produit. (Les tables ont été modifiées en 2008 et le grillage remplacé par une tôle pleine)
- Dimensions des tables trop grandes et mal adaptées à la dimension standard des nattes. A terme, les tables seront de dimensions plus réduites pour pouvoir être facilement déplaçables à l'intérieur comme à l'extérieur du séchoir.



© J.F. Cruz (Cirad)

Figure 10. Mesure de températures dans la serre solaire à Bamako (Mali)

## 4.2. Validation du séchoir à flux traversant (CSec-T)

Le séchoir à flux traversant a été installé dans diverses entreprises à Ouagadougou (Burkina) et à Bamako (Mali). A Bamako, le séchoir a été installé à l'entreprise Danaya et testé en collaboration avec le Laboratoire de Technologie Alimentaire de l'IER. Les tests de séchage ont été réalisés sur du fonio précuit en saison sèche et en saison humide. Pendant la période humide d'hivernage ((juillet/août 2007), les essais réalisés ont donné les principaux résultats suivants :

Séchoir «Flux traversant» (CSec-T)	
Fonio précuit humide	98 kg
Humidité initiale du fonio	31,1%
Fonio précuit sec	72,8 kg
Humidité du fonio séché	7,3%
Durée totale du séchage	4 h

Tableau 3. Performances du séchoir Flux traversant

Le séchoir SCec-T montre que l'utilisation d'un principe de mise en contact de l'air chaud avec le produit, conçu et développé pour obtenir un rendement énergétique élevé permet une amélioration significative de celui-ci se traduisant par une quasi saturation de l'air sortant du séchoir donc une réduction de la consommation énergétique.

Selon l'utilisatrice, ce séchoir a plusieurs avantages :

- ✓ Bonne capacité de séchage car un cycle de séchage peut permettre de sécher une centaine de kg en 4 h soit 200 à 300 kg de fonio précuit si l'on effectue plusieurs cycles par jour.
- ✓ Pas de différence de séchage entre la saison humide et la saison sèche
- ✓ Consommation en gaz était inférieure à celle d'autres séchoirs à gaz (Fac 2000).

Le principal inconvénient reste la nécessité de déplacer fréquemment les claies de séchage (permutation des claies chaque 30 minutes) pour obtenir un séchage efficace. Le deuxième problème semble concerner la répartition de l'air chaud avec le premier module (proche de l'arrivée d'air chaud) plus chaud que les 2 autres modules.

## 5 - Conclusions

Les séchoirs «Serre solaire» et «Flux traversant» ont donné satisfaction aux utilisatrices tant pour leur capacité journalière que pour leur qualité du séchage. Le fait de pouvoir produire du fonio de qualité tout au long de l'année représente, pour elles, un très grand avantage.

Le séchoir « Serre solaire » a une capacité d'environ 400 kg par jour alors que le séchoir à flux traversant peut atteindre une capacité de 300 kg par jour pour 12 h de fonctionnement. Le montant de l'investissement pour la « Serre solaire » est plus élevé (~ 3,5 MFCFA) que pour le séchoir « Csec-T » (~ 1 MFCFA) mais son coût d'utilisation est inférieur. Il est évalué à 25 FCFA par kg de fonio sec pour la « Serre solaire » et à 35 FCFA/kg pour le séchoir « Csec-T

Ces équipements sont polyvalents et peuvent être utilisés sur d'autres produits alimentaires granuleux (couscous, dégué...). Les séchoirs ont été validés par les différents essais réalisés en entreprises et ils sont dorénavant diffusables

## REFERENCES

- Cruz J.F., Marouzé C., Rivier M., Méot J.M., Drame D., Diarra M., Tangara K., Yalcouyé D. 2008. Amélioration de la qualité du fonio. Développement de séchoirs [Poster]. In : Cruz Jean-François (ed.). *Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest*. [Cd-Rom]. Montpellier : CIRAD, 1 p.
- Cruz J.F. 2008. Fonio. Upgrading quality and competitiveness of fonio for improved livelihoods in West Africa : Second activity report. Montpellier : CIRAD, 108 p.
- Cruz J.F. 2008. *La filière fonio en Afrique de l'Ouest* (J.-F. Cruz, éd.), Conférence Fonio, Bamako, Mali [CD-Rom], Cirad, Montpellier.
- Marouzé C., Dramé D. 2007. Projet INCO-Fonio "Amélioration de la qualité et de la compétitivité de la filière fonio en Afrique de l'Ouest" WP1- Activité 3 : Équipements de séchage de fonio, Année 2006. Compte rendu des travaux du CIRAD réalisés en collaboration de l'IER. CIRAD dépt PERSYST UMR Qualisud Janvier 2007.
- Dramé D., Wereme A., Sakho S., Marouzé C. 2005. Rapport de synthèse séchage fonio. in Projet CFC/IGG-(FIGG/02) "Amélioration des technologies post-récolte du fonio" 1999- 2004. Editeurs CFC - CIRAD JF. Cruz & D. Dramé - Coordonnateurs.
- Gomez Eslava C. 2005. Séchage de produits alimentaires dans les pays en développement. Validation de principes de séchoirs. Stage d'ingénieur INSA Département de génie biochimique CIRAD-AMIS Doc. Amis n° 14/2005. Montpellier. France.
- Méot J.-M. Marouzé C. 2005. Séchoir Cirad à produits granulés. Installation et mise en production au Burkina Faso et formation des utilisateurs. Compte rendu de mission de JM. Méot et C. Marouzé, Travail réalisé en collaboration avec Michel Rivier (Cirad, Ouagadougou), Moutar Ouedraogo (Technicien ATC/B) et Hamidou Namata (EIER) Doc. Cirad/Amis N°17/2005 Juin 2005.
- Cruz J.F., Drame D. 2005. Projet CFC/IGG (FIGG/02). Technologies post-récolte du fonio. [Cd-Rom]. Amsterdam : CFC, 1 disque optique numérique (CD-ROM).
- Cruz J.F. 2004. Fonio: a small grain with potential. LEISA, magazine on low external input and sustainable agriculture. Valuing crop diversity. Volume 20 n°1. march. pp.16-17.
- Marouzé C., Touaoro Z. Gibert O. 2001. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Activité n° 13, Amélioration et conception d'équipement. Etude de principes de séchage de fonio. CIRAD-AMIS n° 81/01; Novembre 2001. Montpellier.
- Ursule N. 2001. Séchoir artisanal à gaz pour les produits roulés: Tests de solutions techniques et évaluation des performances Mémoire de fin d'études BTS IAA de l'ITSA La Raque, 11 Castelnau-d'Aud; 44 p. : 44.
- Cruz J.F. 2001. Le fonio. Montpellier : Cirad, 24 p. (*document multigraphié*).
- Baka N'Guessan A. 1999. Elaboration et expérimentation d'un séchoir à gaz pour produits roulés: Cas des granules de maïs pour la fabrication d'une bouillie béninoise "Aklui". Mémoire de fin d'études d'ingénieur ENSIA SIARC, 34 Montpellier.
- Cruz J.F., Drame D., Marouzé C., Son G. 1999. Compte-rendu de l'atelier méthodes de conception d'équipements et protocoles d'essais. Projet Fonio CFC/ICG - (FIGG/02) Amélioration des Technologies Post-récolte du Fonio CIRAD-IER-IRAG-IRSAT. Ouagadougou du 08 au 12 novembre 1999. Montpellier : CIRAD-CA, 12-[9]-9-6-[8] p.



## **ANNEXES**

**Annexe 1** : Guide d'utilisation du séchoir Serre (CSec-S)

**Annexe 2** : Guide d'utilisation du séchoir à flux traversant (CSec-T)

# Annexe 1

## Guide d'utilisation du séchoir Serre CSec-S

### Principe de fonctionnement du séchoir serre

Le Cirad a développé une alternative au séchage solaire direct, avec le séchoir solaire avec une convection forcée. Le séchage du produit est obtenu par rayonnement direct du soleil sur le produit et par effet serre (température plus élevée à l'intérieur de la serre qu'à l'extérieur).

L'objectif est :

- de réaliser un séchage à basse température en utilisant comme source de chaleur, le rayonnement solaire pour l'échauffement de l'air et du produit,
- de réaliser un séchage hygiénique en protégeant le produit de l'environnement extérieur (poussières, sables, et insectes).

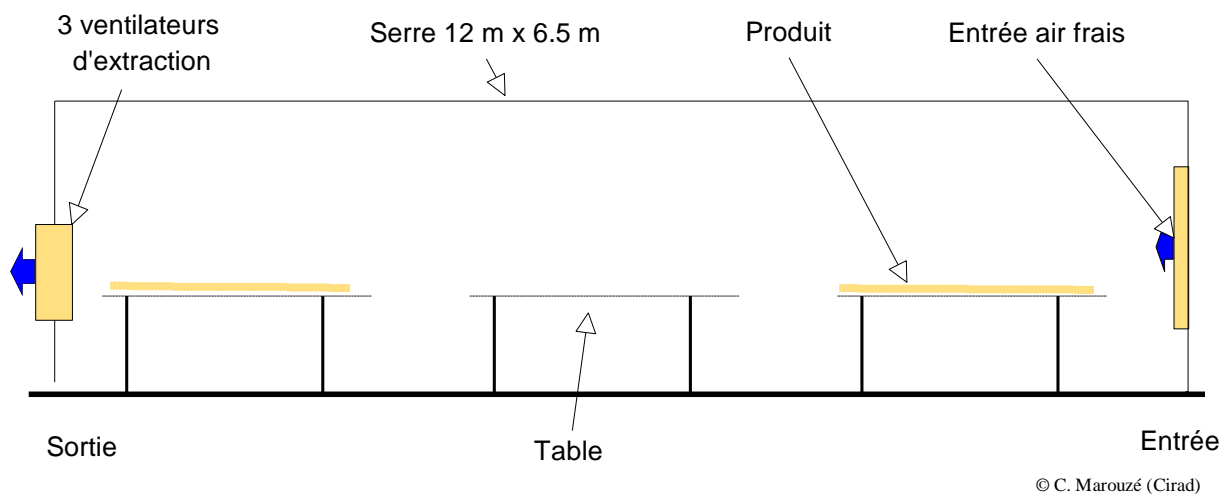


Figure A1. Schéma de principe du séchoir serre

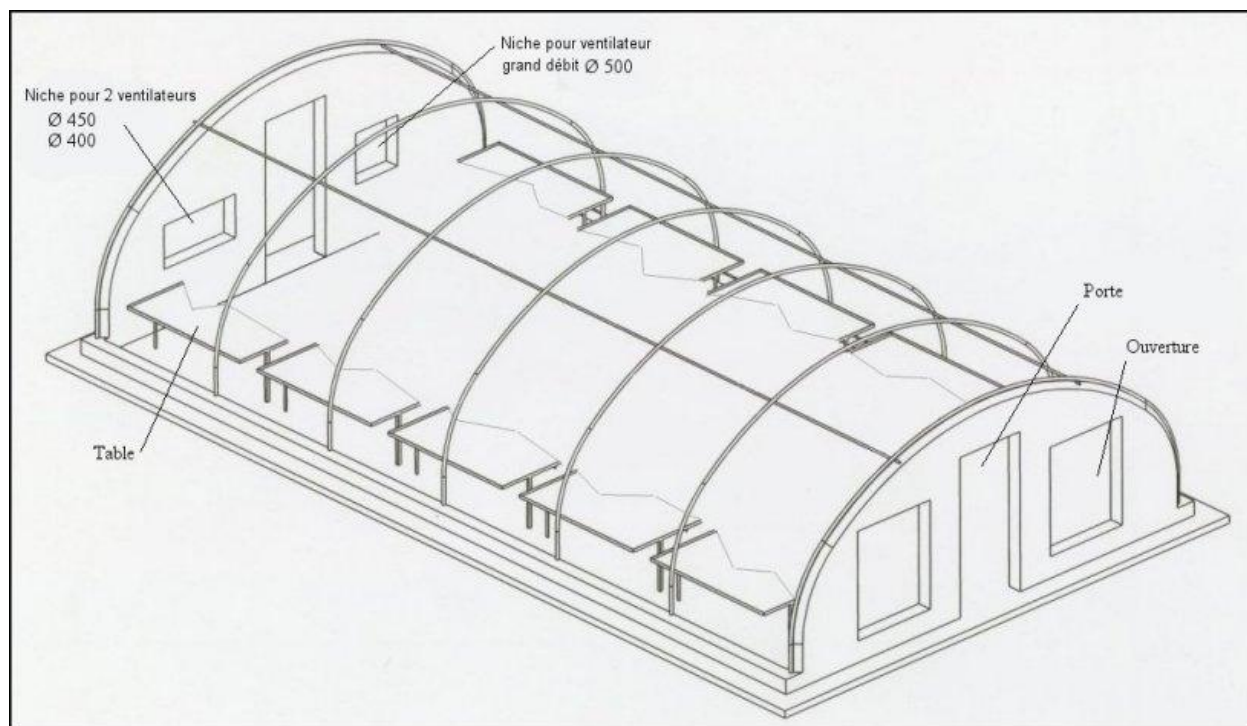


Figure A2. Structure du séchoir Serre

Une première ventilation (ventilateurs 1,2 et 3) assure une extraction continue de l'air humidifié par l'évaporation de l'eau provenant des produits.



© J.F. Cruz (Cirad)

Figure A3. Ventilateurs d'extraction d'air du séchoir Serre

Une deuxième ventilation est assurée par des ventilateurs de plafond. Elle permet un brassage de l'air à l'intérieur de la serre et favorise ainsi le séchage en renouvelant l'air autour du produit.

### **Utilisation du séchoir serre**

- **Il est interdit de faire fonctionner les ventilateurs sans ouvrir les 2 fenêtres d'entrée d'air. Par contre, les portes doivent être fermées pour éviter l'entrée des insectes.**
- Quand le personnel travaille dans la serre (chargement, brassage), le ventilateur 3 doit être mis en route pour réduire la température à l'intérieur de la serre. Ce ventilateur doit être arrêté quand le personnel n'est plus dans la serre.
- En fonctionnement normal de séchage, les deux ventilateurs 1 et 2 sont utilisés en continu. Il est conseillé :
  - en début de séchage d'utiliser le ventilateur 2 qui a un débit supérieur pour extraire l'humidité du produit,
  - en fin de séchage, d'utiliser le ventilateur 1, son moindre débit permet d'avoir un effet serre plus important (température supérieure à l'intérieur de la serre).
- Il est nécessaire de brasser périodiquement le produit sur les claies. Un brassage toutes les 2 heures doit suffire. Il est souhaitable que la durée du brassage de l'ensemble du produit étalé sur les claies soit courte.
- L'intérêt du séchoir serre réside dans la protection du produit vis-à-vis de l'environnement extérieur, il est donc important que le personnel n'entraîne pas de sables et poussières en rentrant dans la serre.
- Les ventilateurs de plafond doivent fonctionner en continu pendant les périodes de séchage.
- Il est souhaitable de stopper la ventilation d'extraction la nuit en arrêtant les ventilateurs d'extraction le soir et en le remettant en route tôt le matin.

## Annexe 2

### Guide d'utilisation du séchoir à flux traversant CSec-T

#### 1 - Principe de fonctionnement du séchoir à flux traversant

Le principe du séchoir à flux traversant est de créer un mouvement à contre courant entre le flux d'air chaud qui va de bas en haut et le produit qui descend par étapes depuis la position 4 jusqu'à la position 1. Ce mouvement à contre courant (air/produit) permet d'utiliser toute la capacité évaporatoire de l'air donc de réduire au minimum la consommation de gaz. En fonctionnement continu, le produit humide est étalé sur une claie qui est placée en position supérieure (4) dans le séchoir. Le produit sec est retiré de la position 1.

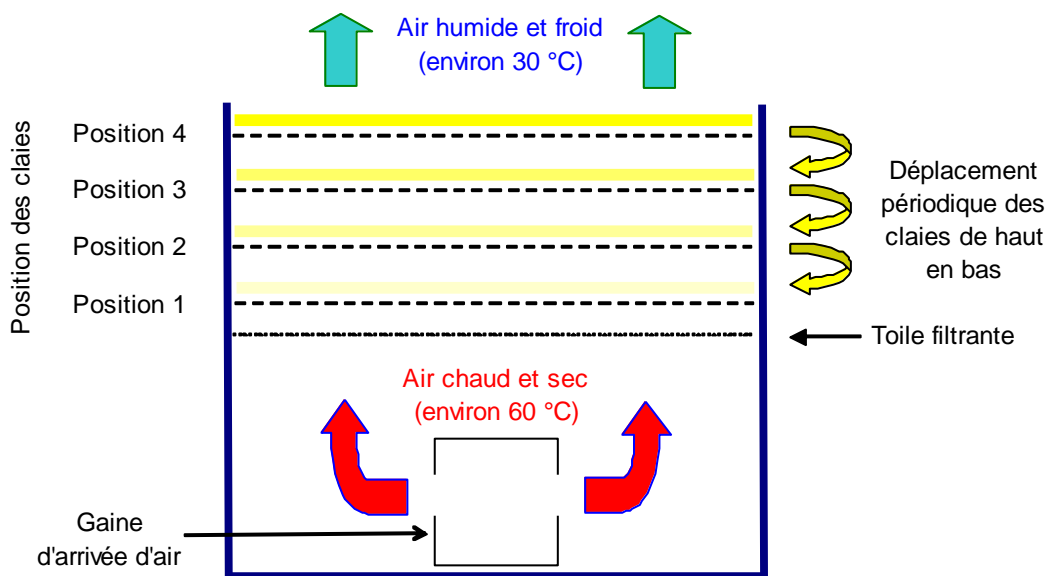


Figure A4. Schéma de principe du séchoir à flux traversant

Il est nécessaire de contrôler l'humidité du produit sur la claie en position 1. Quand cette humidité est bonne (10 % b.h.), la claie est retirée et les 3 autres claies sont descendues d'un niveau.

#### 2 - Réglages préalables

##### Réglage du débit d'air réalisé avec la vanne papillon placée avant le ventilateur

Avant la première utilisation du séchoir, il faut étalonner le réglage du débit d'air. Pour chaque type de produit séché par l'entreprise, il faut rechercher le débit maximum d'air pouvant traverser le séchoir. Plus le débit est important, plus la capacité du séchoir sera importante, il est donc intéressant de travailler avec le débit maximum. Par contre, un débit trop important risque de provoquer une flottation locale du produit en fin de séchage créant un passage préférentiel de l'air chaud donc une hétérogénéité dans le séchage.

**Pour un produit donné, il faut :**

- ✓ Charger en produit à sécher deux claies par cellule, les mettre en position 1 et 2;
- ✓ Charger une claie de produit sec, l'étaler en couche le plus régulièrement possible ;
- ✓ Puis, poser la claie en position supérieure et fermer la porte ;
- ✓ Fermer la vanne de réglage de débit d'air ;
- ✓ Mettre en route le ventilateur (il n'est pas nécessaire de chauffer l'air) ;
- ✓ La vanne de réglage de débit d'air doit être progressivement ouverte tout en surveillant le produit sur la claie ;
- ✓ Pour une certaine ouverture de la vanne, il va se produire un bouillonnement du produit à un endroit de la claie. Pour cette ouverture, le débit d'air est trop important ;
- ✓ Il faut refermer légèrement la vanne pour réduire le débit de telle manière que le bouillonnement s'arrête ;

Cette position est la position de référence pour le produit considéré.

Il faut ensuite faire la même manœuvre pour les autres produits séchés par l'atelier.

*Nota : Pour le modèle fabriqué en 2006 à Bamako, le séchage du fonio se réalise avec la vanne complètement ouverte.*

### **Réglage de la température d'attaque du produit.**

La température de l'air chaud à l'attaque du produit est indiquée par le thermomètre placé sur la gaine après le ventilateur. Le réglage est effectué après mise en route du ventilateur et le réglage du débit d'air. Pour régler la température, on peut agir sur la pression du gaz et/ou sur le réglage des boutons du brûleur. Plus la pression du gaz est élevée et plus la puissance de chauffe est importante et la température de l'air élevée. Il faut normalement sécher à une température d'air de 60 C°. Il est possible de sécher à une température plus faible mais ceci réduit la capacité.

### **3 - Mise en route**

Pour la mise en route, il faut suivre l'ordre des opérations suivantes :

- Avant de démarrer le séchoir, il faut s'assurer qu'une quantité suffisante de produit humide est prête à sécher (au moins 40 kg).
- Régler la position de la vanne de réglage de débit d'air en position ouverte (0).
- Charger deux claies par cellule et les placer en position 1 (position la plus basse) et 2, environ 7 - 8 kg de produit humide par claie.
- Mettre en route le ventilateur.
- Mettre en route le brûleur (détendeur et bouton de réglage en position à définir) puis au bout de quelques minutes vérifier la température de l'air chaud dans la gaine et ajuster la position du détendeur ou la position des boutons de réglage. Le niveau de température recommandé est de 60 °C. Plus la température de l'air est élevée, plus le séchage est rapide et la capacité du séchoir importante.
- Poursuivre le chargement des claies en position 3 et attendre une heure pour charger les claies en position 4.
- Surveiller le séchage de la claie en position 1.



#### 4 - Chargement des claies

- ✓ Le tissu doit être bien plus grand que la claie (au moins 25 cm de plus sur les deux longueurs, soit 115 x 80 cm) de telle manière que l'on puisse recouvrir partiellement le produit après sa mise en claie.
- ✓ Il est souhaitable de mettre la même quantité de produit sur chaque claie. Cette quantité peut être dosée à l'aide d'une bassine ; ce qui est plus simple qu'une pesée.
- ✓ Le tissu doit être tendu sous le produit. Il faut bien remplir les bords de claies et les angles pour éviter les passages préférentiels d'air.
- ✓ Le produit doit être réparti le plus régulièrement possible sur les claies, il est souhaitable d'utiliser une règle pour égaliser le niveau de produit.



© C. Marouzé (Cirad)

Figure A5. Egalisation du niveau de fonio et repliage du tissu sur le produit



© C. Marouzé (Cirad)

Figure A6. Mise en place de la claie supérieure en position 4

Il convient d'enchaîner les opérations suivantes :

- Surveiller l'humidité du produit de la claie en position 1 (la plus basse),
- Quand le produit de la claie en position 1 est sec, il faut retirer la claie, puis,
- Retirer la claie en position 2 et la mettre en position 1,
- Retirer la claie en position 3, brasser le produit et remettre la claie en position 2,
- Procéder de même avec la claie 4 mais sans brasser le produit, fermer la porte,
- Recharger la claie libre et la mettre en position 4.

*Nota : la porte ne doit être ouverte qu'un minimum de temps pour éviter que l'air chaud ne soit rejeté à l'extérieur sans traverser le produit. Par exemple, durant le brassage du produit de la claie passant de la position 3 à la position 2, il faut poser la claie sur une table et refermer la porte durant le brassage du produit.*

## 5 - Quelques indications sur la conduite du séchage

### Réglage pour le fonio

Charge recommandée des claies en produit humide : 7-8 kg

La trappe de réglage de débit d'air est sur 0

La durée de séchage est de l'ordre de 2 heures soit une permutation toutes les 30 min.

### Fonctionnement du brûleur

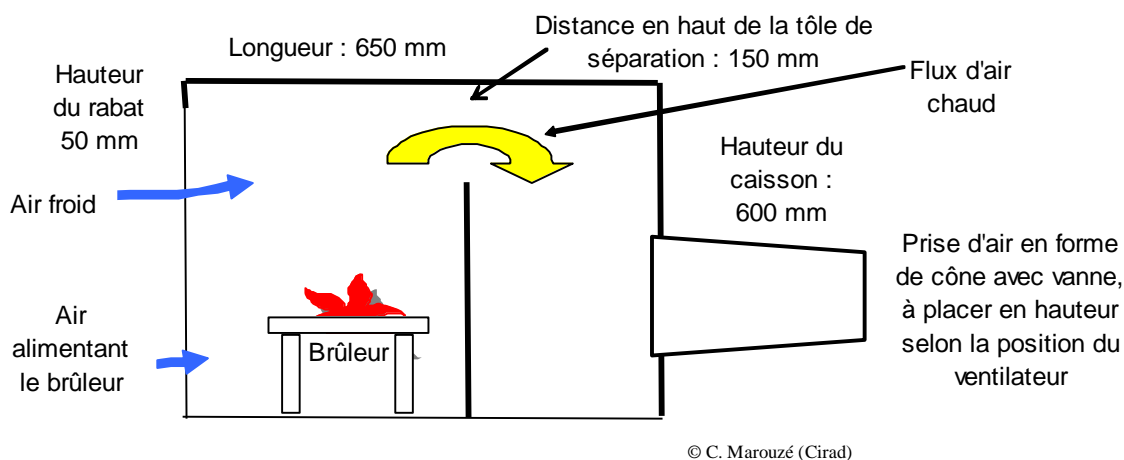


Figure A7. Schéma de principe du caisson du brûleur

Le rôle du caisson brûleur est de récupérer la chaleur produite par un brûleur à gaz en assurant un mélange entre les fumées de combustion et l'air ambiant. Une tôle intermédiaire évite que le flux d'air principal n'éteigne la flamme du brûleur. Une sécurité de présence de flamme est installée sur chaque brûleur.

### Arrêt du séchoir en fin de journée

Il n'est pas nécessaire de vider complètement le séchoir en fin de journée ; les deux dernières claies peuvent rester dans le séchoir durant la nuit sans que le séchage ne soit terminé car le produit a suffisamment perdu d'humidité pour attendre le lendemain sans dégradation.

Il faut d'abord arrêter le brûleur puis 3 minutes plus tard arrêter le ventilateur pour évacuer la chaleur du caisson et du ventilateur.